

弾性波速度変化帯における火成岩の性質について

著者	斎藤 徳美
号	402
発行年	1972
URL	http://hdl.handle.net/10097/9138

氏 名（本籍）	さい 齋	とう 藤	とく 徳	み 美	（秋田県）
学 位 の 種 類	工	学	博	士	
学 位 記 番 号	工	博	第 4 0 2 号		
学位授与年月日	昭和 4 8 年 3 月 2 7 日				
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当				
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科				
	（博士課程）資源工学専攻				
学位論文題目	弾性波速度変化帯における火成岩の性質 について				
	（主査）				
論文審査委員	教 授 九里 尚一	教 授 堀部 富男			
	教 授 早川 典久	教 授 南部 松夫			
	助教授 横山 秀吉				

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

弾性波速度変化帯は，基盤岩をおおう風化帯であり，探査工学の分野では，深さと共に弾性波速度が漸移的に増加する特異な変化帯として取り扱われている。この変化帯の存在は弾性波探査において，その下位の地下構造の解析に重大な影響を及ぼすものである。岩石の弾性波速度は鉱物組成・岩石組織・空隙・密度・含有水分・変質状態などに依存するものであるが，弾性波速度変化帯はこれら諸要素の変化が特に著しいところである。従って，弾性波探査により，地下構造や鉱床の賦存深度をよりの確に知るためには，弾性波速度変化帯における弾性波速度とこれに関係する諸要素との関係を明確に把握する必要がある。しかるに，従来弾性波探査は主として石油，

ガス等を含む堆積岩を対象としており、火成岩、特に弾性波速度変化帯についての研究は少ない。すなわち、火成岩の弾性波速度変化帯については、P波速度と有効空隙率および見掛け密度との関係がごく限られた範囲で明らかにされているにすぎず、火成岩を対象とした研究の展開が待たれている現状である。

本研究は火成岩の弾性波速度変化帯における弾性波速度とこれに関係する諸要素との関係を究明するため、東北地方に分布する4種類の火成岩を対象として行ったものである。本研究では、いわゆる新鮮岩石から風化土にいたる広い範囲にわたり、各岩種ごとのP波速度・S波速度と見掛け密度・有効空隙率・含有水分・変質状態との関係を明らかにし、さらに岩種によるこれらの関係の相違について岩石組織や構成鉱物の変質過程から考察した。

第2章 供試火成岩の産状

本研究の遂行には、岩種ごとに、いわゆる新鮮岩石から風化土にいたる各状態の岩石試料が必要である。そのため、試料採取に先立って、火成岩の分布する東北地方南部の砕石場、ダムサイトなどにおいて風化帯の断面の野外調査を行った。野外調査の結果に基づき、代表的な風化帯の断面を示す下記の地点において試料を採取した。すなわち、深成岩として茨城県北茨城市水沼ダム付近の石英閃緑岩、火山岩として宮城県仙台市愛宕山砕石場の安山岩、宮城県宮城町作並砕石場の石英安山岩、福島県桑折町平沢山砕石場の玄武岩を研究の対象とした。

これらの火成岩について、従来花崗岩類に対して提唱されている地質学的な風化帯の分帯基準に従って、岩石の色・割目などの肉眼的特徴およびロックハンマーの打撃に対する反応をもって風化帯を5帯に分帯し、風化帯の構造を明らかにした。

試料としては、岩種ごとに、いわゆる新鮮岩石から風化土にいたる一連の風化状態の岩塊を採取した。岩塊の大きさは $15 \times 15 \times 20$ cm程度で、採取数は岩種ごとに50～60個である。各岩塊から簡易ボーリングマシンで直径3.4 cm長さ10～15 cmのコアを2～4本抜きとった。さらにこれらのコアを長さ7 cmおよび0.5 cmの2種の大きさのものに切断し、前者は弾性波速度・見掛け密度・有効空隙率測定用とし、後者は有効空隙率の測定に用いた。岩質がもろく、コア抜きの困難な岩塊からはカッターで一辺5 cmの立方体試料を作成した。

第3章 火成岩の弾性波速度と弾性波速度に関係する諸要素との関係

本章においては、P波速度と見掛け密度・有効空隙率および水分飽和度との関係を明らかにすると共に、岩種による弾性波速度と有効空隙率および水分飽和度との関係の相違について、空隙組織の観察に基づいて検討した。

弾性波速度の測定はパルス透過法によって行った。P波速度は共振周波数200 KHzの円板形

チタン酸バリウム磁器の振動子を岩石試料に一定圧で密着させて測定した。またS波速度は共振周波数 3.3 MHz のチタン酸バリウム磁器のずれ振動子をカナダバルサムで岩石試料に接着して測定した。

見掛密度および有効空隙率は、試料の飽和重量・乾燥重量・水中重量から算出した。なお、水が浸み込みやすいように真空ポンプで減圧した状態で岩石試料を水浸し、重量変化のなくなった状態をもって飽和状態と規定した。大きさの異なる試料の含水量の比較から、外部とつながった空隙はこの状態ではほとんど水で飽和したものみなすことができる。また岩石試料を 105°C 乾燥炉中に静置し、重量変化のなくなった状態をもって乾燥状態と規定した。

水分飽和度は、飽和状態の試料が乾燥していく過程で弾性波速度を測定し、その際の試料重量と飽和重量および乾燥重量とから算出した。

弾性波速度の有効空隙率および見掛密度との関係は、従来ごく限られた有効空隙率の範囲で明らかにされているにすぎない。本研究では、石英閃緑岩で有効空隙率が 0.6 ~ 2.5 %、安山岩で 7 ~ 4.5 %、石英安山岩で 6 ~ 4.5 %、および玄武岩で 5 ~ 5.0 % の範囲にわたって測定した結果、弾性波速度は有効空隙率の増加と共に指数関数的に減少し、また見掛密度の減少と共に指数関数的に減少することが明らかになった。

岩種ごとの弾性波速度と有効空隙率との関係は、安山岩・石英安山岩および玄武岩では類似しているが、これらの火山岩と深成岩の石英閃緑岩とではその関係が著しく異なっている。すなわち、石英閃緑岩では、P波速度が 5 Km/s 以上の試料の有効空隙率は 1 % 以下である。また有効空隙率の増加に伴う弾性波速度の減少は、有効空隙率が 1 % 付近で急激であり、数%以上では緩やかになる。一方火山岩においては、P波速度が 5 Km/s 以上の試料の有効空隙率は 6 ~ 8 % であり、また有効空隙率の増加に伴う弾性波速度の減少は石英閃緑岩のように急激ではない。

火成岩の弾性波速度と水分飽和度との関係について、従来の報告では単に乾燥状態と飽和状態との弾性波速度の比較があるのみで、その間の含有水分の変化に伴う弾性波速度の変化を調べた報告はほとんどない。本研究では、飽和状態から乾燥状態まで水分飽和度が連続的に変化する過程でP波速度およびS波速度の測定を行った。その結果、水分飽和度の変化にかかわらずS波速度はわずかしこ変化しない。しかしP波速度は著しく変化し、変化の仕方は石英閃緑岩と火山岩とで異なり、さらに同種岩石でも有効空隙率により異なることが明らかになった。特に、石英閃緑岩ではP波速度は水分飽和度の減少と共に乾燥状態まで連続的に減少するが、火山岩ではP波速度は飽和状態からわずかに水が失われると急激に減少している。また、有効空隙率が 1.0 ~ 2.0 % の火山岩では、水分飽和度が 5.0 ~ 7.0 % でP波速度がわずかに増加する傾向が認められた。

石英閃緑岩と火山岩とによって、弾性波速度と有効空隙率および水分飽和度との関係が異なるのは、次のことに起因するものと考えられる。すなわち、石英閃緑岩は完晶質等粒状組織を呈し、各鉱物粒子がかたく結合しており、一次的空隙はわずかである。風化の初期の段階には、鉱物粒

子間の境界や劈開などに沿ってクラックが生ずる。このようなクラックは有効空隙率としてはわずかな増加にすぎないが、鉱物粒子の結合に緩みをもたらすため、わずかの有効空隙率の増加でも急激に弾性波速度が減少するものと考えられる。また、クラックに含まれる水分はP波速度に及ぼす影響が大きいので、乾燥状態にいたる過程でのP波速度の減少が著しいものと考えられる。なお、従来提唱されているGassmannらの粒状体モデルにより、乾燥状態のP波速度の測定値から計算した飽和状態のP波速度の計算値は測定値より著しく低い値となり、深成岩には粒状体モデルは適用できないといえる。

一方、火山岩においては、気孔などの一次的空隙のための新鮮な岩石でも石英閃緑岩に比して有効空隙率は大きい。しかし、このような空隙は溶岩の固結時から存在するもので、大きさ・形状の点で弾性波速度にあまり影響を及ぼさないものと考えられる。風化が進むと、有効空隙率の増加は、主として石基の微細な鉱物粒子やガラスの変質に起因する微細な二次的空隙の増加によってもたらされる。このような空隙の増加は、クラックに比べ岩石の結合状態に急激な緩みをもたらさないため、有効空隙率の増加に伴う弾性波速度の減少が緩やかなものといえる。また石基の変質部に含まれる水分は、飽和状態の近くでP波速度に急激な変化をもたらすものと考えられる。

第4章 弾性波速度と火成岩の変質度合との関係

本章では、火成岩の変質過程を主に顕微鏡観察およびX線粉末回折によって究明し、簡便な変質度合または程度の表示方法を提案すると共に、従来明らかにされていない変質度合と弾性波速度との関係について検討した。

石英閃緑岩については、顕微鏡観察により主要構成鉱物である石英・長石・黒雲母の破壊段階あるいは変質段階を分類し、これらの組み合わせから岩石の変質度を3段階に区分した。各鉱物のうち、特に長石の変質段階は岩石の変質度合をよく表し、また鏡下において変質部と未変質部の識別が容易である。そこで、長石中の変質部を積分台で測定し変質部量を長石全体に対する変質部の割合をもって表示し、変質度合を定量的に表した。石英閃緑岩では、鉱物粒子間の境界や劈開などに沿うクラックの増加と共に変質部量も増加しており、変質部量と弾性波速度との間には密接な関係がある。すなわち、変質部量が増加するに従って弾性波速度は減少しており、変質部量が10%以下の試料はP波速度が4.5 Km/s以上S波速度が2.75 Km/s以上、変質部量が10~16%の試料はP波速度が4.5~3.0 Km/s S波速度が2.75~1.75 Km/s、変質部量が16%以上の試料はP波速度が3.0 Km/s以下S波速度が1.75 Km/sと対比させられる。それ故、弾性波速度から石英閃緑岩の変質度合を推定することが可能であり、積分台で測定した変質部量は深成岩の変質度合の表示方法として有効であるといえる。

火山岩においては、主に石基において粘土鉱物が生成しており、その種類に変化が認められるこ

とから、粘土鉱物によって変質度を区分した。いずれの火成岩でも、P波速度が $4.5 \sim 2.5 \text{ Km/s}$ S速度が $2.75 \sim 1.50 \text{ Km/s}$ の試料ではモンモリロナイト鉱物が、P波速度が 2.5 Km/s 以下S波速度が 1.50 Km/s 以下の試料ではハロイサイト鉱物が顕著に認められる。このように、生成粘土鉱物と弾性波速度との間には相関が認められ、粘土鉱物の種類による変質度合の表示方法は有効である。

また、前章で明らかにしたP波速度と水分飽和度との関係において、水分飽和度が $50 \sim 70\%$ で極小速度を示す火山岩では、いずれもモンモリロナイト鉱物が顕著に認められることから、粘土鉱物の種類がP波速度と水分飽和度との関係に関与しているものと推測される。

第5章は結論であり、第2章～第4章の結果ならびに考察のまとめである。

審 査 結 果 の 要 旨

弾性波深査によって地下構造や鉱床賦存深度の推定をよりの確にするには、地表下比較的浅所に存在する弾性波速度変化帯における弾性波速度の変化におよぼす諸要因の影響を詳細に把握することが必要である。従来弾性波深査は主として石油等を胚胎する堆積岩を対象としているため、火成岩を対象とした研究は極めて少なく、とくに有効空隙率と弾性波速度との関係は限定された範囲内にとどまり、なお解明の余地が残されている。

本論文は東北地方に分布する火成岩を対象として有効空隙率のより広汎な範囲にわたり、パルス透過法によりP波およびS波速度を測定し、これらと有効空隙率、含有水分、岩石組織および変質などとの関係についての研究結果をまとめたもので、全編5章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では深成岩の例として石英閃緑岩、火山岩の例として安山岩、石英安山岩、玄武岩を取り上げ、それらの産状、風化帯の実態、岩石組織、鉱物組成などについて記載している。

第3章では岩石のP波およびS波速度と有効空隙率、水分飽和度との関係について詳述している。しかし、有効空隙率の増加と共に指数関数的に減少する弾性波速度が深成岩と火成岩とでは明確に区分されることを空隙の様相の差異、すなわち前者にあってはクラック、後者にあっては石基変質による空隙によって説明している。これは新しい知見である。さらに水分飽和度のいかにかわらずS波速度にはほとんど変化が認められないが、P波速度は著しく変化し、変化の傾向も深成岩と火成岩とでは異なるなどの成果を得ている。とくに深成岩では、P波速度は水分飽和度の減少と共に乾燥状態まで連続的に減少するが、火山岩の一部では約半ばの水分飽和度で極小値が得られた。火成岩において、この現象を初めて見出したことは貴重な成果である。

第4章は火成岩の変質と弾性波速度との関係についての考究である。そのなかで、火成岩の変質の程度を、石英閃緑岩については積分台を用いて定量した長石中の変質部量をもって、また火山岩については生成粘土鉱物の種類と組合せとをもって表示する方法を提案している。これは実技に対する興味ある示唆を与えたものである。また上記変質程度と弾性波速度との間に相関があることを明らかにし、さらにまた前章で見出したP波速度に極小値をもつ火山岩にのみモンモリロナイトが顕著に認められることから、含有粘土鉱物の種類が大きく関与するものと推論している。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、弾性波速度変化帯の火成岩の弾性波速度とこれに影響をおよぼす諸要因との関係を究明し、弾性波探査結果の解析に有用な知見を提供したもので、資源工学、とくに物理探査工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。